

ESTIMATIVA DE CUSTOS PARAMÉTRICOS DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS USANDO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR

ESTIMATE OF PARAMETRIC COST OF BUILDING CONSTRUCTION USING LINEAR REGRESSION MODEL

Felipe Cardoso Amoedo Maués¹, Kederson Pinto de Melo¹, Carla Barroso de Oliveira Leão², Sheyla Mara Baptista Serra²

RESUMO:

Um dos resultados esperados na construção civil é a precisão dos orçamentos que pode ser obtida por meio da comparação do custo real das obras com as suas estimativas iniciais. Os orçamentistas têm desenvolvido estratégias para realizar essa estimativa inicial, visando ter maior grau de confiabilidade na informação gerada. Uma das opções é desenvolver técnicas de estimativa de custos por meio de equações de regressão linear que considerem a especificidade das obras e a cultura construtiva da construtora. Este trabalho propõe a apresentação de um modelo matemático de equações de regressão linear simples para determinação do custo estimado de obras de mesma tipologia construtiva e dos seus principais serviços. Foram considerados os dados reais de oito empreendimentos que possuíam a mesma tipologia construtiva e correspondente Estrutura Analítica de Projetos (EAP), sendo possível determinar a relação entre o custo de cada serviço e a área total de pavimentos tipos. As equações geradas foram validadas em novo empreendimento que atingiu um grau de precisão de 9,76% em seu orçamento estimado em relação ao real. Desta forma, o resultado apresentado pelo modelo paramétrico de estimativa de custo proposto atende a precisão no nível de orçamento preliminar com base em anteprojeto. Além disso, o trabalho pode ser utilizado como roteiro para aplicação em outros tipos de obras e para disseminação desta técnica de estimativa de custos junto à indústria da construção.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil; Orçamento; Orçamentação; Gestão de custos.

ABSTRACT:

One of the expected results in the construction industry is the precision of the budgets obtained by comparing the works' real cost with its initial estimates. Budgeters have developed strategies to carry out this initial estimate, aiming at having a greater degree of reliability in the information generated. One of the options is to develop cost estimation techniques using linear regression equations that consider the specificity of the services and the construction company's constructive culture. This paper proposes a mathematical model of simple linear regression equations to determine the estimated cost of the same construction type and primary services. The actual data of eight projects with the same constructive typology and corresponding Work Breakdown Structure (WBS) were considered, making it possible to determine the relationship between each service's cost and the total area of standard floors. The generated equations were validated in a new project that reached a precision level of 9.76% in its estimated budget concerning the real one. In this way, the result presented by the proposed parametric cost estimate model meets the precision in the preliminary budget level based on the preliminary design. The paper can also be used as a roadmap for application in other projects and the dissemination of this cost estimation technique among the construction industry.

KEYWORDS: Construction industry; Budget; Cost Estimating Relations; Costs management.

¹ Faculdade Faci-Wyden

² Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Fonte de Financiamento:
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
– Código de Financiamento 001

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
Declara não haver necessidade.

Submetido em: 02/04/2020
Aceito em: 06/04/2021

How to cite this article:

MAUÉS, F.C.A.; MELO, K.P.; LEÃO, C.B.O.; SERRA, S.M.B. Estimativa de custos paramétricos de construção de edifícios usando modelo de regressão linear. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n2, 2022. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.168355>



INTRODUÇÃO

O orçamento é uma importante ferramenta de gestão do negócio na construção civil e possui diferentes níveis de detalhamento e de precisão em função da etapa de desenvolvimento do empreendimento e dos projetos correspondentes (BAETA, 2012; MATTOS, 2006; TISAKA, 2006). Para Gunaydin e Dogan (2004), o custo é um dos principais critérios na tomada de decisão durante os estágios iniciais de um processo de projeto de construção. Para esses autores, no mundo globalmente competitivo, a definição do custo e da forma como ocorrerá o seu controle é fundamental para definir as margens de lucro do empreendimento, mantendo os níveis de qualidade pré-definidos.

Para Otero (2000), a estimativa de custo desempenha um papel fundamental dentro da construção civil e se coloca como ferramenta de extrema importância no gerenciamento de obras. Segundo Barros e Falcão (2016), é evidente a importância da acurácia e da precisão em orçamentos paramétricos para o gerenciamento e acompanhamento dos projetos. A sua aplicação está intimamente ligada à avaliação do valor total a ser financiado ou contratado. O desempenho e o sucesso geral do projeto são geralmente medidos pelo quão bem o custo real se compara às estimativas iniciais de custo (OBERLENDER; TROST, 2001).

Durante a fase de estudos preliminares, onde são tomadas as decisões sobre a análise da viabilidade técnica-econômica da obra, os projetos executivos ainda não foram elaborados (ABNT NBR 12722, 1992), o que torna o processo de análise do orçamento ainda bastante impreciso. Normalmente, os proprietários exigem estimativas de custos mais precisas do que as informações disponíveis naquele momento para embasarem a decisão sobre a continuidade ou não do empreendimento. Assim, os orçamentistas necessitam desenvolver ou conhecer estratégias eficazes para realizar essa estimativa com o grau de precisão adequado. Para Jarde e Alkass (2007), as estimativas de custo são geralmente baseadas na experiência do orçamentista e avaliações de projetos anteriormente realizados que são semelhantes no escopo.

Os empreendimentos da construção possuem características únicas que devem ser considerados durante as atividades de estimativa de custos e planejamento. O custo de um edifício é afetado significativamente pelas decisões tomadas na fase de projeto. Além das definições da concepção do edifício, como adoção do sistema construtivo, identificação dos serviços principais e seleção dos materiais, existem custos indiretos que impactam no custo total do empreendimento e que nem sempre são conhecidos preliminarmente. Assim, a especificidade é uma característica importante do orçamento (MATTOS, 2006).

Azevedo et al. (2011) propõem um modelo de avaliação do desempenho do processo de orçamento e identificaram que um dos pontos principais para melhorar a qualidade dos orçamentos baseados em estimativas de custos é a necessidade de melhoria da apropriação dos custos reais dos projetos e dos serviços realizados.

Além disso, o desenvolvimento de técnicas de estimativa de custos pode auxiliar a fase de análise da viabilidade dos empreendimentos e os métodos paramétricos têm sido sugeridos em vários estudos para melhorar a precisão das estimativas de custos conceituais (SONMEZ, 2008). Na prática, a estimativa de custos, mais frequentemente realizada nas fases iniciais do projeto, é a paramétrica desenvolvida pela adoção de análise de regressão (HEGAZY; AYED, 1998). Na estimativa paramétrica, um modelo incluindo os parâmetros importantes é desenvolvido para prever os custos de construção, usando dados de projetos anteriores.

Uma das estimativas paramétricas mais comuns é o método do custo unitário, por exemplo, custo por metro quadrado, que utiliza dados de custo histórico para obter uma estimativa do custo de um edifício (KARSHENAS, 2005; KIRKHAM, 2007). Mas podem ser verificadas também

estratégias refinadas como as técnicas de análise de regressão e o uso de redes neurais para determinar um modelo de custo mais preciso (SONMEZ, 2008).

Mendes et al. (2009) analisaram 60 projetos de empreitadas para construção de sistemas de coleta e transporte de águas residuais em Portugal. Os autores verificaram que as estimativas de custos obtidas a partir do modelo paramétrico concebido contribuiu significativamente para a tomada de decisões estratégicas, pois o conhecimento de dados detalhados de projeto ainda não estava disponível. Os modelos encontrados explicaram adequadamente os custos de cada componente do sistema de águas residuais (MENDES et al., 2009).

Para Kermanshachi et al. (2016), conceberam um modelo com técnicas de regressão para estimativa de custos de projeto e de construção para pequenas e médias instalações de transporte urbano. Para esses autores, a determinação dos custos de construção para projetos pequenos é mais problemática do que para grandes projetos.

Badawy (2020) realizou um estudo com 174 projetos residenciais no Egito por meio de redes neurais artificiais e a análise de regressão. Com isso, foi possível estimar o custo dos edifícios residenciais identificando os principais fatores que afetaram a estimativa de custo em estágio inicial do empreendimento que foram o número de pavimentos e as respectivas área dos pavimentos.

Isaton (2016) propõe que as estimativas paramétricas podem ser aplicadas a projetos de unidades de internação socioeducativas, podendo-se obter além dos custos, dados sobre quantitativos de serviços na fase de viabilidade do empreendimento.

Dang e Le-Hoai (2018) por sua vez conceberam modelos preditivos para estimar o custo de subsistemas estruturais e estabelecerem uma estimativa de faixa para este custo usando informações de projeto disponíveis nos estágios iniciais de projetos de construção residencial.

Nesse contexto, verifica-se a ampla aplicação de técnicas de estimativas paramétricas com base em modelos matemáticos e relacionadas com diferentes tipologias de obras ou de serviços em vários países. Entretanto, o procedimento ainda precisa ser mais bem discutido e conhecido pelo meios acadêmicos e profissionais.

Dessa forma, o propósito deste trabalho é apresentar um modelo matemático baseado em regressão linear pra obras de edificações residenciais, com determinada tipologia construtiva, por meio de equações paramétricas que possibilitem o prognóstico do custo da obra e dos serviços de uma obra, nos estágios iniciais de projeto, com nível de confiabilidade determinado. Esse modelo foi validado por meio de teste em empreendimento de mesma tipologia. Além disso, o trabalho objetiva ser considerado como um roteiro para aplicação em outros tipos de empreendimentos e para disseminação desta estratégia de estimativa de custos junto aos profissionais e pesquisadores da indústria da construção civil no Brasil.

CUSTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A engenharia de custos é considerada o ramo da engenharia que estuda os métodos de projeção, apropriação e controle dos recursos monetários necessários à realização dos serviços que constituem uma obra ou projeto, de acordo com um plano de execução previamente estabelecido (DIAS, 2011).

NÍVEIS DOS ORÇAMENTOS

Segundo Mattos (2006), existem três níveis de desenvolvimento dos orçamentos na construção civil:

- Estimativa de custo: avaliação expedita tendo por base o metro quadrado (m²) de área equivalente construída com base em custos históricos e comparação com projetos similares;
- Orçamento preliminar: pressupõe o levantamento de quantidades dos principais serviços e comparação com projetos similares; também denominado “Estimativa de custos por etapa de obra”;
- Orçamento analítico ou detalhado: elaborado por meio da composição de custos unitários e extensa pesquisa de preços dos insumos.

O Custo Unitário Básico (CUB) é calculado tendo por base a média dos custos reais por m² de diferentes tipologias de empreendimentos e está entre as possibilidades de estimativa de custos (ABNT NBR 12721, 2006). No entanto, em função do caráter generalista deste método, verifica-se que os resultados obtidos apresentam erros de grande magnitude com relação aos custos reais (OTERO, 1998).

Na fase de orçamento preliminar, o grau de detalhamento é um pouco maior do que na estimativa de custo por m². Nessa fase do orçamento é concebida a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), e são estimadas as quantidades dos principais pacotes de trabalho. Para o Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP, 2012), o “orçamento preliminar é um orçamento sintético composto pela descrição, unidade de medida, preço unitário e quantidade dos principais serviços da obra, elaborado com base no anteprojeto de engenharia”. Para esse autor, esse tipo de orçamento está relacionado com a fase de anteprojeto, pressupõe o levantamento de quantidades e requer pesquisa de preços dos principais insumos e serviços.

Na fase de orçamento analítico ou detalhado, atualmente se sobressaem os projetos concebidos com o uso do Building Information Modeling (BIM) que cria uma associação da estimativa de custos (5D) com o modelo 3D da edificação (MATTANA; LIBRELOTTO, 2018). Para essas autoras, mesmo em etapas preliminares do processo de projeto concebido com BIM, pode-se realizar um estudo de viabilidade, por meio da análise volumétrica do partido arquitetônico em concordância com os custos envolvidos.

PRECISÃO DOS ORÇAMENTOS

A precisão do orçamento depende da fase de detalhamento do projeto do empreendimento. Baeta (2012) comenta que todo nível de orçamento é aproximado, por conter estimativa de quantitativos de vários serviços, além de incertezas intrínsecas, como a variação do preço dos insumos praticado no mercado e a temporalidade na execução do orçamento. De acordo com Altounian (2016), “todo o processo de contratação de obra está intrinsecamente atrelado à avaliação de valores dos custos para sua consecução. Esses valores podem ser estimados por meio de diversos métodos, cada qual com nível de precisão próprio”.

Para obras de edificações no Brasil, conforme pesquisa de obras e referências internacionais, Baeta (2012) considera que a margem de erro admissível para estimativa de custos com base em Estudos Preliminares ou Estimativas de Custos simples é de +/- 30%. Para o nível de Orçamento Preliminar com base em anteprojeto a margem de erro é de +/- 15% (BAETA, 2012). No caso de Orçamento Detalhado com base em projeto básico, a margem de erro admissível fica entre +/- 5 e 10%, enquanto o Orçamento Detalhado elaborado com base em projeto executivo tem margem de erro de +/- 5% (BAETA, 2012).

Para o IBRAOP (2012), a precisão dos orçamentos depende também da relação com o nível de desenvolvimento dos projetos. Na fase de estudos preliminares do empreendimento, o tipo de orçamento adequado é o de estimativa de custo que apresenta uma faixa de precisão de +/- 30%.

Continuando, IBRAOP (2012) apresenta que a precisão para os tipos de orçamento preliminar, detalhado com projeto básico e detalhado com projeto executivo são de +/- 20%, +/- 10% e +/- 5%, respectivamente.

O Quadro 1 apresenta a faixa de precisão dos orçamentos para importantes entidades internacionais e especialistas na área de engenharia de custos.

Entidade / especialista		Faixa de precisão dos orçamentos			
		Estimativas de Custos	Preliminar (com anteprojeto)	Detalhado (com projeto básico)	Detalhado (com projeto executivo)
AACE (American Association of Cost Engineers)	Faixa inferior	-20% a -50%	-10% a -20%	-3% a -10%	
	Faixa superior	+30% a +100%	+10% a +30%	+3% a +15%	
ANSI (American National Standards Institute)		-30% a +50%	-15% a +30%	-5% a +15%	
ACostE (Association of Cost Engineers - UK)		-30% a +30%	-10% a +10%	-5% a +5%	
Baeta (2012)		-30% a +30%	-15% a +15%	-10% a +10%	-5% a +5%
IBRAOP (2012)		-30% a +30%	-20% a +20%	-10% a +10%	-5% a +5%

Quadro 1. Faixa de precisão dos orçamentos por nível

Fonte: adaptado de Baeta (2012)

Conforme pode ser verificado, a precisão esperada no nível de estimativa de custos é significativamente baixa. Assim, a apresentação de métodos de prognóstico do custo para apoiar esta etapa do desenvolvimento de projetos será apresentada a seguir.

ESTIMATIVA DE CUSTOS

De acordo com o IBRAOP (2012), tem-se que a estimativa de custo é uma “avaliação expedita feita com base em custos históricos, índices, gráficos, estudos de ordens de grandeza, correlações ou comparação com projetos similares”. A elaboração de uma estimativa de custo tem sua importância em estágios iniciais de desenvolvimento dos estudos do empreendimento, ou seja, quando ainda não é possível elaborar o orçamento detalhado. Nessa fase, a definição do valor da estimativa de custos auxiliará na decisão sobre a continuidade ou não do desenvolvimento do empreendimento e trará informações sobre a ordem de grandeza do investimento a ser executado (ALTOUNIAN; CAVALCANTE, 2014).

Altounian (2016) comenta que a “maneira mais fácil e rápida de se avaliar valores de execução de obras é por meio de indicadores que reflitam custos médios por unidade que caracterizem o empreendimento”, e cita o exemplo da utilização do custo por metro quadrado, muito usual em obras de edificações, e o custo por quilômetro, muito utilizado em obras rodoviárias. Altounian e Cavalcante (2014) destacam que, para obras de semelhante tipologia e mesmo porte, a estimativa de custos pode ser obtida por meio de estudos comparativos ou que utilizem parâmetros para comparação.

Esta simplificação, conhecida como método paramétrico de estimativa de custos, é baseada em certos “parâmetros” que são comumente usados na indústria da construção e que refletem as características físicas do empreendimento, como tamanho, tipologia da tecnologia construtiva, fechamento externo e número de andares. Como as estimativas paramétricas são elaboradas nas fases iniciais de desenvolvimento do empreendimento, normalmente se baseiam em dados históricos coletados de projetos anteriores semelhantes (HENDRICKSON, 2000).

O Modelo Paramétrico de Custo pode-se obtido a partir do custo global ou parcial da obra e da obtenção de Relações Paramétricas de Custo (em inglês, *Cost Estimating Relations* - CER), estabelecendo uma ligação entre estas parcelas de custo e as variáveis relevantes na caracterização do projeto (OTERO, 1998).

Gunaydn e Dogan (2004) em análise do custo de construção de edifícios residenciais na Turquia, verificaram que existe uma certa padronização na tipologia dos edifícios estudados que costumavam ser de 4 a 8 andares, com blocos de vedação e estrutura em concreto armado. Para apoiar o processo de análise da viabilidade dos empreendimentos, os autores propõem um modelo de estimativa de custos exclusivo para os sistemas estruturais de edifícios de esqueleto em concreto armado por meio de estudos matemáticos.

Outro exemplo de aplicação para estimativa de custos por regressão estatística é o Custo Unitário Geométrico (CUG) que usa a relação entre proporções geométricas do edifício para determinação do custo da obra (LIMA, 2013). Considera o levantamento das variáveis independentes que são as características geométricas do empreendimento, a saber: área de paredes externas, área de paredes internas, área de paredes de contenção, área de projeção da edificação, área de piso molhado, área não construída, volume da edificação, padrão construtivo (relacionado à qualidade dos acabamentos). A variável dependente a ser determinada é o custo estimado (CUG), que multiplicado pela quantidade de área a ser construída, informa o custo total previsto para execução daquele empreendimento.

Para Otero (1998), os modelos paramétricos de custo apresentam-se como uma alternativa que se situaria em termos de custos de processamento e de precisão entre as técnicas do CUB e do Orçamento Detalhado, podendo substituí-los em vários momentos com uma eficiência muito maior. A estimativa paramétrica tem sido considerada um método eficaz para reduzir o tempo gasto em licitações pelos agentes na indústria da construção civil (BAJAJ; GRANSBERG; GRENZ, 2002).

Lima, Kos e Montenegro (2016) fizeram um estudo entre as estimativas de preço obtidas por meio do CUB e do CUG em comparação com o orçamento final de dez edificações no estado de Goiás. Os resultados alcançados mostram que a estimativa de custo obtida com o indicador do CUB teve uma variação de 31% a 45% contra 9% a 23% do CUG na comparação com o orçamento final.

Dessa forma, o modelo de custo paramétrico é uma ferramenta útil não apenas para preparar estimativas conceituais antecipadas quando há poucos dados técnicos ou faltam definições sobre os produtos de engenharia (DYSERT, 2001), mas também colaboram para evitar erros e omissões que são comuns nos procedimentos tradicionais de estimativa de custos (MEYER; BURNS, 1999).

MÉTODOS DE PESQUISA

Esta pesquisa utiliza a análise de dados e simulação numérica por meio da análise de regressão linear. Para Favero e Belfiore (2017), o conjunto de técnicas de regressão é provavelmente o mais utilizado em análise de dados que procuram entender a relação entre o comportamento de determinação fenômeno e o comportamento de uma ou mais variáveis potencialmente preditoras. Segundo Cordeiro e Lima Neto (2006), o objetivo principal da análise de regressão é prever o valor de uma variável, considerada como dependente, a partir do conhecimento do valor de uma variável associada, considerada como independente. Na análise de regressão simples, a predição da variável dependente é feita com base em apenas uma variável independente. Dessa forma, este artigo utiliza o modelo de regressão simples na investigação

dos parâmetros e coeficientes que interferem no custo de construção, utilizando o software Microsoft Excel.

O método adotado foi a análise de documentos e a simulação numérica, sendo que a pesquisa é exploratória. A fonte dos dados é de origem primária, cedidos por determinada empresa construtora, parceira na pesquisa, que cedeu dados de oito empreendimentos para a montagem do banco de dados e dados de um nono empreendimento para validação do método proposto. Os valores utilizados no estudo estão relacionados ao custo real apurado em cada uma das obras. Faz parte da rotina da empresa parceira o controle dos custos periódicos das obras, possibilitando o conhecimento dos custos reais.

Contudo, o trabalho apresenta como limitações o banco de dados para determinação das equações restrito aos oito empreendimentos, sendo exclusivo de determinada empresa e a validação do método proposto somente com um caso.

Para Yin (2001), a análise de documentos ou arquivos é vantajosa quando se procura descrever a incidência ou predominância de um fenômeno através de análises estatísticas. Vale ressaltar, também, que para este estudo não é exigido controle sobre eventos comportamentais (como acontece em um experimento) e o foco são os acontecimentos passados. Essas são outras duas características da estratégia de análise de arquivos indicadas por Yin (2001).

CÁLCULOS ESTATÍSTICOS

Para cumprir o objetivo proposto nesta pesquisa foram necessárias algumas análises estatísticas. Foram utilizadas as medidas de tendência central (mediana e média) e de variabilidade (desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo). E por meio da análise de regressão foi possível estabelecer as equações que expressem o relacionamento entre as variáveis resposta ou dependente Y e a explicativa ou independente X.

Foram verificadas, por meio da análise de correlação, a existência e a intensidade da relação entre as variáveis. Segundo Levin, Fox e Forde (2012), na maior parte dos casos, os pesquisadores buscam estabelecer correlações lineares entre as variáveis. Desta forma, usualmente o grau de correlação entre duas variáveis X e Y é medido através do coeficiente de correlação linear de Pearson (P), que oscila entre -1,00 e +1,00. A seguir, no Quadro 2, pode-se verificar como esses números foram interpretados, independentemente de serem negativos ou positivos.

Valores do Coeficiente de Correlação de PEARSON (ρ)	Interpretação
$0,00 < \rho < 0,30$	Existe FRACA (FR) correlação linear
$0,30 < \rho < 0,60$	Existe MODERADA (M) correlação linear
$0,60 < \rho < 0,90$	Existe FORTE (F) correlação linear
$0,90 < \rho < 1,00$	Existe correlação linear MUITO FORTE (MF)

Quadro 2. Classificação do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson

Fonte: Callegari-Jacques (2003)

A utilização do coeficiente de correlação entre pares de variáveis é uma forma simples de detectar relações colineares (HILL; JUDGE; GRIFFITHS, 2010). De acordo com os autores, o coeficiente de correlação entre duas variáveis explanatórias superior a 0,8 ou 0,9 indica forte associação linear.

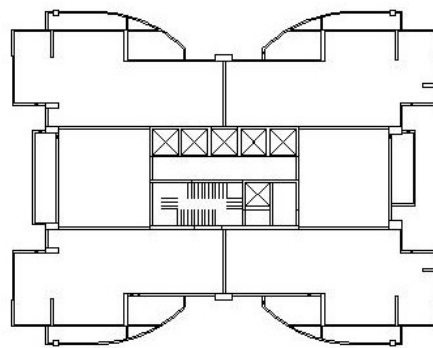
CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS OBRAS

Os empreendimentos estudados foram construídos entre os anos de 2011 e 2016 e localizam-se numa mesma cidade, que é capital de Estado da federação brasileira. Os oito edifícios estudados caracterizam-se por serem residenciais de alto padrão e estão localizados em regiões com infraestrutura urbana consolidada. Os empreendimentos oferecem áreas de lazer distribuídas no térreo e/ou sobressolos, áreas comuns decoradas e, em média, com duas vagas de garagens por apartamento. Os edifícios possuem as principais tipologias construtivas: estrutura tradicional em concreto armado moldado *in loco*, vedação em bloco de concreto, *shafts* com fechamento em gesso acartonado, instalações com tubulações em PVC (policloreto de vinila), em PPR (polipropileno copolímero random) e em cobre, revestimento interno com gesso liso e com pintura, piso em porcelanato, paredes hidráulicas revestidas em cerâmica até o teto, *kit* porta pronta e fachada em cerâmica.

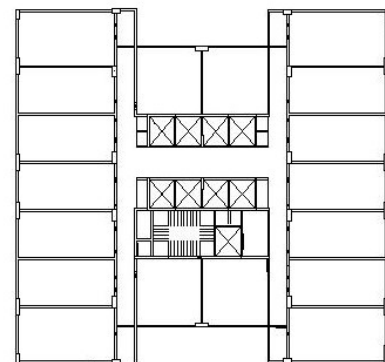
Na Figura 1 podem ser visualizadas as geometrias dos pavimentos tipo dos empreendimentos F, G e H estudados. Como pode ser observado não havia um padrão de configuração dos pavimentos tipos por serem empreendimentos de alto padrão.

Figura 1. Plantas simplificadas dos pavimentos tipos de alguns edifícios analisados

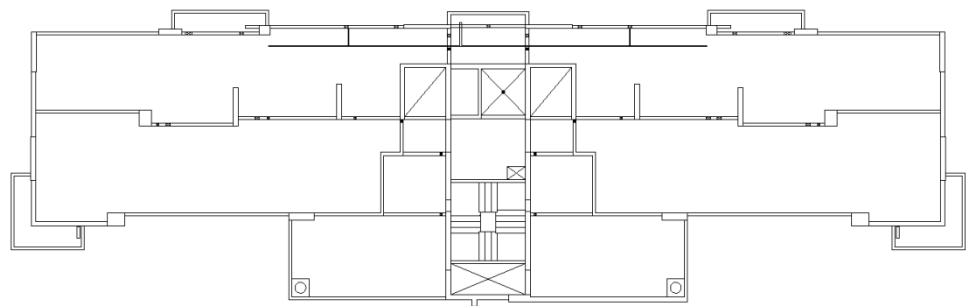
Fonte: Empresa



Obra F



Obra G



Obra H

APRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Na Tabela 1 são apresentados os custos totais de cada um dos empreendimentos, assim como suas respectivas características como o número de pavimentos e número de torres dos edifícios analisados. Os oito empreendimentos estão nomeados pelas letras de A a H.

Obra	Custo total (INCC)	Número de torres	Número de pavimentos por torre	Número total de pavimentos	Área do pavimento tipo (m ²)	Área total de pavimentos tipo (m ²)
A	144.244	4	12	48	650,00	31.200,00
B	60.631	2	10	20	894,58	17.891,60
C	133.300	10	6	60	395,69	23.741,40
D	72.725	3	12	36	626,47	22.552,92
E	152.451	6	8	48	721,28	34.621,44
F	115.356	1	31	31	704,11	21.827,41
G	82.934	1	21	21	665,35	13.972,35
H	71.467	1	27	27	414,00	11.178,00

Tabela 1. Dados dos edifícios analisados

Fonte: Empresa

Na Tabela 1 os valores da coluna referente ao custo total foram obtidos por meio da razão entre o custo da obra na data de conclusão da mesma e o Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado / Disponibilidade Interna da Fundação Getúlio Vargas (INCC-DI/FGV) do respectivo mês. Trata-se de um número “puro”, sem unidade de medida, não sendo expresso em unidade monetária, nem em percentual. Assim, pode-se facilmente obter o valor atualizado da obra e analisar as variações percentuais do INCC ocorridas em qualquer período. Para tanto, multiplica-se esse valor obtido pelo último índice de preço divulgado pela FGV ou pelo índice do mês que se deseja atualizar o custo. Neste estudo, o índice utilizado foi de 799,589 referente ao mês julho de 2020.

A Tabela 2 apresenta o custo real de cada uma das oito obras decomposto nos trinta serviços que fazem parte da EAP padrão adotada pela empresa. Novamente ressalta-se que o valor registrado de cada um dos serviços por empreendimento está expresso com base no INCC, conforme explicado anteriormente. Também é apresentado o percentual do custo médio de cada serviço da EAP em relação ao custo total médio dos empreendimentos da base de dados.

Tabela 2. Custo em INCC por serviço por obra e custo total de cada obra

Fonte: Empresa

Serviços	A	B	C	D	E	F	G	H	% custo real
Projetos e tributos	4.719	1.777	2.683	2.124	6.408	4.618	2.923	2.403	3,32
Administração do canteiro	13.694	10.026	11.798	8.923	15.021	10.734	8.013	7.845	10,33
Despesas mensais do canteiro	1.095	1.036	2.424	1.236	1.897	1.279	1.513	675	1,34
Contingência de obra	1.475	76	33.433		5.638	9.036	2.233	2.749	6,56
Instalações provisórias canteiro	2.274	166	2.115	1.363	3.676	2.122	1.372	1.397	1,74
Equipamentos e ferramentas	5.176	2.918	5.639	3.484	4.725	3.655	3.216	2.371	3,74
Movimento de terra	2.176	581	2.792	1.965	2.370	642	295	113	1,31
Fundações	15.415	5.601	5.946	2.998	11.239	11.012	6.388	7.734	7,96
Estrutura	26.046	14.993	21.377	11.982	26.679	23.718	16.861	13.112	18,58
Coberturas e impermeabilização	1.389	1.124	845	493	1.729	1.161	572	641	0,95
Vedação e painéis	8.364	3.075	2.422	4.570	9.854	4.248	3.467	2.635	4,64
Revestimentos internos	7.655	3.193	5.572	5.845	9.034	5.842	3.062	4.500	5,37
Revestimento externo	9.318	3.624	4.496	3.330	6.719	7.258	5.093	5.973	5,50

Serviços	A	B	C	D	E	F	G	H	% custo real
Serviços	A	B	C	D	E	F	G	H	% custo real
Esquadrias madeira	2.393	454	407	1.448	3.254	996	823	844	1,28
Esquadrias metálicas	4.484	840	2.490	2.655	5.254	2.873	3.921	2.063	2,95
Vidros	59	1.013	27	-	76	790	769	341	0,37
Instalações água fria/quente, esgoto e gás	6.578	1.843	6.779	3.436	7.702	2.701	2.172	1.172	3,89
Instalações elétricas e telefonia	7.260	4.104	7.273	6.069	6.272	5.357	6.836	4.054	5,67
Equipamentos de iluminação	254	-	114	171	482	304	193	180	0,20
Instalação de Sistema de Combate a Incêndio	256	67	323	393	1.260	720	855	462	0,52
Instalações de climatização	117	44	106	458	541	1.231	632	555	0,44
Instalações de CFTV e segurança	151	1	278	142	208	594	1.780	293	0,42
Elevadores	2.522	1.345	1.508	1.735	2.649	2.768	2.902	1.237	2,00
Pintura	1.941	479	2.126	1.296	2.624	1.701	1.087	815	1,45
Pisos	11.186	1.271	6.175	3.327	5.855	4.323	3.814	3.480	4,73
Pedras	940	108	188	478	906	1.159	391	782	0,59
Louças e metais	1.220	158	474	577	2.094	1.069	297	520	0,77
Serviços de infraestrutura	2.983	489	2.415	1.010	4.886	1.151	479	791	1,70
Complementação artística e paisagismo	2.505	153	723	914	2.867	1.791	853	1.521	1,36
Limpeza de obra	599	74	349	304	534	505	124	207	0,32
Custo apurado total (INCC)	144.244	60.631	133.300	72.725	152.451	115.356	82.934	71.467	100%

* CFTV: Circuito Fechado de TV

Tendo como base os valores da Tabela 2 e a área total de pavimento tipo do empreendimento foram realizadas as análises estatísticas. A variável tomada como de maior importância dentro deste estudo foi a área total dos pavimentos tipo, em virtude de sua tradicional importância dentro da construção de edifícios, como indutora da atratividade do proprietário e das estratégias de venda do empreendimento.

A área total considerada (obtido por meio da planta baixa) corresponde ao somatório das áreas de todos os pavimentos tipo no empreendimento, conforme Tabela 1. Essa variável será analisada junto aos demais direcionadores em regressões lineares, para definição de modelos matemáticos baseados em regressão linear. Com isso, poderá ser obtido o prognóstico do custo dos serviços de uma obra nos estágios iniciais de projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS SERVIÇOS ESTUDADOS

Após inserção dos dados de entrada na planilha do Microsoft Excel foram gerados os resultados do trabalho. A Tabela 3 mostra, resumidamente, os resultados da análise de regressão linear de todos os serviços dos orçamentos estudados, ordenados a partir do Coeficiente de Pearson. Os valores percentuais de custo para cada serviço (obtidos conforme Tabela 2) indicam a importância do comportamento destes sobre a variabilidade do custo global definido no modelo paramétrico final. Em outras palavras, quando determinado serviço possui uma alta percentagem de custo, o nível de confiabilidade alcançado pela relação paramétrica que o caracteriza mantém consequências mais significativas sobre a confiabilidade do modelo paramétrico global do que quando este serviço apresenta um baixo custo percentual. Ou seja, quanto mais próximo de 1 for o Coeficiente de Pearson mais precisão há na qualidade daquela

estimativa de custo. A correlação pode ser classificada conforme Quadro 2, em MF (muito forte), F (forte), M (moderado) e FR (fraca).

Serviços	Coefficiente de Pearson	Correlação	% médio	% acumulado
Vedação e painéis	0,9564	MF	4,64%	4,64%
Administração do canteiro	0,9468	MF	10,33%	14,97%
Revestimentos internos	0,9100	MF	5,37%	20,34%
Instalações água fria/quente, esgoto e gás	0,9025	MF	3,89%	24,23%
Serviços de infraestrutura	0,8952	F	1,70%	25,93%
Pintura	0,8497	F	1,45%	27,38%
Limpeza de obra	0,8286	F	0,32%	27,70%
Louças e metais	0,8221	F	0,77%	28,47%
Movimento de terra	0,8157	F	1,31%	29,78%
Esquadrias de madeira	0,8109	F	1,28%	31,06%
Equipamentos e ferramentas obra	0,7916	F	3,74%	34,80%
Estrutura	0,7882	F	18,58%	53,38%
Coberturas e impermeabilização	0,7855	F	0,95%	54,33%
Projetos e tributos	0,7671	F	3,32%	57,65%
Instalações provisórias para canteiro	0,7579	F	1,74%	59,39%
Complementação artística e paisagismo	0,6788	F	1,36%	60,75%
Pisos	0,6678	F	4,73%	65,48%
Esquadrias metálicas	0,6653	F	2,95%	68,43%
Equipamentos de iluminação	0,6256	F	0,20%	68,63%
Fundações	0,5725	M	7,96%	76,59%
Instalações elétricas e telefonia	0,5486	M	5,67%	82,26%
Revestimento externo	0,4704	M	5,50%	87,76%
Despesas mensais do canteiro	0,4451	M	1,34%	89,10%
Elevadores	0,3997	M	2,00%	91,10%
Pedras	0,3661	M	0,59%	91,69%
Instalação de Sistema de Combate a Incêndio	0,2908	FR	0,52%	92,21%
Contingência de obra	0,1390	FR	6,56%	98,77%
Instalações de climatização	-0,1653	FR	0,44%	99,21%
Instalações de CFTV e segurança	-0,4203	M	0,42%	99,63%
Vidros	-0,5649	M	0,37%	100,00%

Tabela 3. Valores do Coeficiente de Pearson em relação ao peso percentual no orçamento

Fonte: Autores

Pode-se observar na Tabela 3 que 24,23% dos custos dos serviços apresentaram correlação MUITO FORTE, conforme Coeficiente de Pearson entre $0,90 < |\rho| < 1,00$. São eles: Vedações e painéis; Administração do canteiro; Revestimentos internos e Instalações hidráulicas. Também pode-se observar que 44,40% dos custos dos serviços apresentaram correlação FORTE. Ou seja, no que se refere ao orçamento preliminar, quase 70% dos serviços não detalhados em anteprojeto, podem ter seus custos estimados com um grau de precisão aceitável, para empreendimentos com as características similares às colocadas inicialmente. Os serviços com correlação MODERADA equivalem a 23,85% e os de correlação FRACA a 7,52%. Assim, o somatório dos itens percentuais do custo real da amostra contribuiu para estabelecer os custos totais do empreendimento, conforme Tabela 2.

Deste modo, torna-se evidente que a análise de correlação linear entre os itens do orçamento que possuem maior representatividade dentro do custo total da obra apresentaram um alto nível de correlação entre as duas variáveis – área (m²) do pavimento tipo e custo real.

EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DO CUSTO DOS SERVIÇOS

Por meio da regressão linear simples foram obtidas as expressões matemáticas que mostraram a relação entre os valores de custo para cada serviço (variável dependente) e a área do pavimento tipo de cada obra (variável independente), conforme Tabela 4. Por meio da equação ou fórmula apresentada pode-se estimar o custo de cada serviço a partir da quantidade de área de pavimento tipo do empreendimento, sendo o seu grau de confiabilidade representado pelo Coeficiente de Pearson. O objetivo da identificação de uma fórmula para cada serviço foi reduzir o erro intrínseco do método de estimativa geral com a fragmentação do custo total em parcelas menores.

Tabela 4. Expressões matemáticas referentes a cada serviço da EAP

Fonte: Autores

Serviços	Correlação	Equação
Vedação e painéis	MUITO FORTE	$Y = 0,31186 X - 1653,96$
Administração do canteiro	MUITO FORTE	$Y = 0,31010 X + 3896,49$
Revestimentos internos	MUITO FORTE	$Y = 0,23446 X + 400,88$
Instalações água fria/quente, esgoto e gás	MUITO FORTE	$Y = 0,29014 X - 2370,82$
Serviços de infraestrutura	FORTE	$Y = 0,17395 X - 2072,85$
Pintura	FORTE	$Y = 0,07652 X - 184,15$
Limpeza de obra	FORTE	$Y = 0,02032 X - 112,56$
Louças e metais	FORTE	$Y = 0,06542 X - 646,38$
Movimento de terra	FORTE	$Y = 0,10871 X - 1038,30$
Esquadrias de madeira	FORTE	$Y = 0,10211 X - 931,78$
Equipamentos e ferramentas obra	FORTE	$Y = 0,11458 X + 1362,85$
Estrutura	FORTE	$Y = 0,57484 X + 6471,33$
Coberturas e impermeabilização	FORTE	$Y = 0,04270 X + 49,57$
Projetos e tributos	FORTE	$Y = 0,15522 X + 22,91$
Instalações provisórias para canteiro	FORTE	$Y = 0,09603 X - 313,67$
Complementação artística e paisagismo	FORTE	$Y = 0,07933 X - 339,41$
Pisos	FORTE	$Y = 0,24751 X - 546,92$
Esquadrias metálicas	FORTE	$Y = 0,11804 X + 461,12$
Equipamentos de iluminação	FORTE	$Y = 0,01111 X - 33,39$
Fundações	MODERADA	$Y = 0,28640 X + 1955,46$
Instalações elétricas e telefonia	MODERADA	$Y = 0,08892 X + 3935,99$
Revestimento externo	MODERADA	$Y = 0,11869 X + 3100,44$
Despesas mensais do canteiro	MODERADA	$Y = 0,03056 X + 718,26$
Elevadores	MODERADA	$Y = 0,03474 X + 1314,59$
Pedras	MODERADA	$Y = 0,01754 X + 230,92$
Instalação de Sistema de Combate a Incêndio	FRACA	$Y = 0,01397 X + 232,72$
Contingência de obra	FRACA	$Y = 0,19450 + 2527,07$
Instalações de climatização	FRACA	$Y = - 0,00805 X + 638,55$
Instalações de CFTV e Segurança	MODERADA	$Y = - 0,03010 X + 1096,70$

Serviços	Correlação	Equação
Vidros	MODERADA	$Y = - 0,02914 X + 1029,29$

Conforme pode ser verificado na Tabela 4, seis serviços que totalizam 23,85% do orçamento indicaram correlação MODERADA, são eles: Fundações, Instalações elétricas e telefonia, Revestimento externo, Despesas mensais do canteiro, Elevadores, Instalações de CFTV/Segurança, Pedras e Vidros. Enquanto apenas três serviços apresentaram correlação FRACA, são eles: Instalação de Sistema de Combate a Incêndio, Contingência de obra e Instalações de climatização. Estes, totalizaram apenas 7,52% do orçamento.

SIMULAÇÃO DO ESTUDO REALIZADO

Para verificar a aplicabilidade do método desenvolvido para determinação do orçamento preliminar será apresentada uma nova obra da empresa parceira. Trata-se de um empreendimento, construído em condições similares aos anteriores, denominado Obra I. A Figura 2 apresenta a geometria dos pavimentos tipos da Obra I e os dados são: área dos pavimentos tipos = 679,53 m²; número de pavimentos = 32; número de torres = 2; total de área corresponde aos pavimentos tipos = 43.489,90 m².

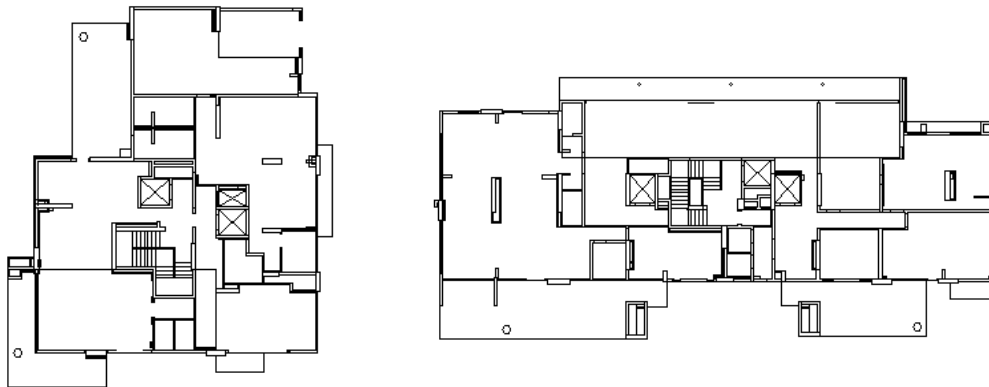


Figura 2. Plantas simplificadas dos pavimentos tipos da Obra I analisada

Fonte: Empresa

Nas expressões matemáticas apresentadas na Tabela 4, o X corresponde a variável “área total do pavimento tipo” em m², e o Y será o valor do “custo do serviço” baseado no INCC do mês de referência. Por exemplo, para um empreendimento com somatórios das áreas dos pavimentos tipos igual a 43.489,90 m², como é o caso da Obra I, o orçamento preliminar baseado na estimativa paramétrica por etapa de obra e global pode ser verificado na Tabela 5. Os valores dos custos estimados pelas equações foram multiplicados pelo índice de preço mensal INCC/DI mais recente para obter o custo estimado em real. No caso, o custo foi multiplicado por 799,58918 que corresponde ao valor do INCC/DI no mês de julho de 2020 (FGV, 2020).

Em seguida, a Tabela 6 apresenta a comparação entre os valores estimados em INCC com os valores reais de cada serviço da Obra I cedidos pela empresa, conforme documentação analisada.

Tabela 5. Obtenção da estimativa paramétrica de custo por etapa de obra para edifício com área do pavimento tipo (X) igual a 43.489,90 m²

Fonte: Autores

Serviços	Equações paramétricas	Custo estimado (INCC)	Custo estimado (R\$)
Projetos e tributos	$Y = 0,15522 X + 22,91$	6.773	5.415.947,17
Administração do canteiro	$Y = 0,31010 X + 3896,49$	17.383	13.899.025,23
Despesas mensais do canteiro	$Y = 0,03056 X + 718,26$	2.047	1.637.008,00
Contingência de obra	$Y = 0,19450 X + 2527,07$	10.986	8.784.171,23
Instalações provisórias para canteiro	$Y = 0,09603 X - 313,67$	3.863	3.088.545,22
Equipamentos e ferramentas obra	$Y = 0,11458 X + 1362,85$	6.346	5.074.131,16
Movimento de terra	$Y = 0,10871 X - 1038,30$	3.689	2.950.073,91
Fundações	$Y = 0,28640 X + 1955,46$	14.411	11.522.853,57
Estrutura	$Y = 0,57484 X + 6471,33$	31.471	25.163.922,35
Coberturas e impermeabilização	$Y = 0,04270 X + 49,57$	1.907	1.524.487,72
Vedação e painéis	$Y = 0,31186 X - 1653,96$	11.909	9.522.147,80
Revestimentos internos	$Y = 0,23446 X + 400,88$	10.598	8.473.663,89
Revestimento externo	$Y = 0,11869 X + 3100,44$	8.262	6.606.410,68
Esquadrias de madeira	$Y = 0,10211 X - 931,78$	3.509	2.805.737,39
Esquadrias metálicas	$Y = 0,11804 X + 461,12$	5.595	4.473.435,84
Vidros	$Y = - 0,02914 X + 1029,29$	238	190.306,77
Instalações água fria/quente, esgoto e gás	$Y = 0,29014 X - 2370,82$	10.247	8.193.661,86
Instalações elétricas e telefonia	$Y = 0,08892 X + 3935,99$	7.803	6.239.283,85
Equipamentos de iluminação	$Y = 0,01111 X - 33,39$	450	359.641,45
Instalação de Sistema de Combate a Incêndio	$Y = 0,01397 X + 232,72$	840	671.873,92
Instalações de climatização	$Y = - 0,00805 X + 638,55$	288	230.646,54
Instalações de CFTV e segurança	$Y = - 0,03010 X + 1096,70$	212	169.789,56
Elevadores	$Y = 0,03474 X + 1314,59$	2.825	2.259.182,56
Pintura	$Y = 0,07652 X - 184,15$	3.144	2.513.666,22
Pisos	$Y = 0,24751 X - 546,92$	10.217	8.169.614,66
Pedras	$Y = 0,01754 X + 230,92$	994	794.578,03
Louças e metais	$Y = 0,06542 X - 646,38$	2.199	1.758.080,12
Serviços de infraestrutura	$Y = 0,17395 X - 2072,85$	5.492	4.391.518,17
Complementação artística e paisagismo	$Y = 0,07933 X - 339,41$	3.111	2.487.237,10
Limpeza de obra	$Y = 0,02032 X - 112,56$	771	616.607,01
VALOR TOTAL EM INCC		187.580	149.987.248,99

Na Tabela 6 é possível comparar por meio do INCC, para cada um dos serviços, o custo estimado com o respectivo custo real. Na quarta coluna é apresentado o desvio calculado entre os custos estimado e real. Pode-se observar, que os itens que apresentaram maiores desvios foram Movimento de terra (793%), Serviços de infraestrutura (516%), Contingência de obra (331%) e Instalações hidráulicas (165%). Esses quatro itens totalizam um peso de 13,46% do custo da obra e são serviços com características peculiares e influenciados por vários fatores projetuais,

ficando mais limitada a possibilidade de predição. No caso da previsão para o serviço Contingência de obra, de acordo com Carr (1989), essa verba se destina para atender ocorrências possíveis ou imprevistos, considerando eventos identificados e expectativa de outros eventos que ocorrerão e que não poderão ser identificados antecipadamente.

Serviços	Custo estimado (INCC)	Custo real (INCC)	Desvio (%)	Correlação	Peso real (%)	Peso acum. (%)
Projetos e tributos	6.773	4.966	36%	F	3,32%	3,32%
Administração do canteiro	17.383	19.436	-11%	MF	10,33%	13,65%
Despesas mensais do canteiro	2.047	1.801	14%	M	1,34%	14,99%
Contingência de obra	10.986	2.548	331%	FR	6,56%	21,55%
Instalações provisórias para canteiro	3.863	3.225	20%	F	1,74%	23,29%
Equipamentos e ferramentas obra	6.346	6.368	0%	F	3,74%	27,03%
Movimento de terra	3.689	413	793%	F	1,31%	28,34%
Fundações	14.411	12.772	13%	M	7,96%	36,30%
Estrutura	31.471	30.674	3%	F	18,58%	54,88%
Coberturas e impermeabilização	1.907	1.581	21%	F	0,95%	55,83%
Vedação e painéis	11.909	7.355	62%	MF	4,64%	60,47%
Revestimentos internos	10.598	9.935	7%	MF	5,37%	65,84%
Revestimento externo	8.262	14.707	-44%	M	5,50%	71,34%
Esquadrias de madeira	3.509	1.973	78%	F	1,28%	72,62%
Esquadrias metálicas	5.595	9.207	-39%	F	2,95%	75,57%
Vidros	238	2091	-89%	M	0,37%	75,94%
Instalações água fria/quente, esgoto e gás	10.247	3.870	165%	MF	3,89%	79,83%
Instalações elétricas e telefonia	7.803	7.775	0%	M	5,67%	85,50%
Equipamentos de iluminação	450	357	26%	F	0,20%	85,70%
Instalação de Sistema de Combate a Incêndio	840	500	68%	FR	0,52%	86,22%
Instalações de climatização	288	1730	-83%	FR	0,44%	86,66%
Instalações de CFTV e segurança	212	868	76%	M	0,42%	87,08%
Elevadores	2.825	3.560	-21%	M	2,00%	89,08%
Pintura	3.144	1.770	78%	F	1,45%	90,53%
Pisos	10.217	12.794	-20%	F	4,73%	95,26%
Pedras	994	2626	-62%	M	0,59%	95,85%
Louças e metais	2.199	1.858	18%	F	0,77%	96,62%
Serviços de infraestrutura	5.492	892	516%	F	1,70%	98,32%
Complementação artística e paisagismo	3.111	2.379	31%	F	1,36%	99,68%
Limpeza de obra	771	871	-11%	F	0,32%	100,00%
Valor total em INCC	187.580	170.902	9,76%		100%	
Valor total em reais	149.267.056,33	136.651.359,28				

Tabela 6. Comparação da estimativa paramétrica do orçamento preliminar por etapa de obra com o custo real da Obra I

Fonte: Autores

Na Tabela 6 pode-se observar que o serviço de Vedações e painéis apresentou um desvio alto (62%) apesar de ter obtido uma correlação muito forte (MF) na regressão linear. Neste caso, entendeu-se que isso foi devido ao fato de que a Obra I possuía apenas um apartamento por pavimento tipo em cada torre, com área privativa maior que as demais, apesar de ter o mesmo padrão de acabamento das outras obras.

No que se refere aos serviços de Revestimento interno e Administração do canteiro, cuja correlação também foi considerada muito forte (MF), a estimativa ficou próxima do custo real. Os desvios foram de 7% e -11%, respectivamente, dentro de uma faixa aceitável de erro.

Em linhas gerais, o desvio total do orçamento estimado em relação ao custo real foi de 9,76%, valor que está dentro da faixa de precisão apontada por Baeta (2012) como para Orçamento Preliminar com base em anteprojeto que é de -15% a +15%. Entretanto, cabe destacar que a abordagem da Estimativa de Custos considera historicamente níveis mais baixos de precisão do orçamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar um método para obtenção das equações paramétricas que possibilitem estimar o custo total e dos serviços de uma obra, nos estágios iniciais de concepção de edificações com determinada tipologia, bem como testar a aplicabilidade dessas equações. A partir de dados reais de oito empreendimentos e uso de programa computacional, foram identificadas as relações entre o custo de cada serviço e a área total dos pavimentos tipo, por meio de análises de regressão linear simples.

O estudo mostrou que, em função do nível de confiabilidade estabelecido nas análises paramétricas de custo apresentadas, é possível a realização de estimativas de custo tanto em termos globais como para serviços específicos. Verificou-se que há existência de diferentes graus de correlação entre a área de um pavimento tipo e o custo real dos principais serviços de obra que compõem o orçamento. A identificação da estimativa dos custos separados por serviços traz como vantagem adicional a provável comparação de propostas para contratação de serviços especializados.

Acredita-se, portanto, que o objetivo principal deste trabalho foi alcançado, uma vez que, foi possível demonstrar a existência de equações para a maioria dos serviços presentes em um determinado tipo de obra, para prognóstico de custos de obra na fase de viabilidade ou estudos preliminares de empreendimentos de edificações.

Por fim, as equações geradas por meio de regressão linear simples foram testadas em um novo orçamento e os resultados obtidos foram similares à precisão do orçamento com existência de anteprojeto. Como resultado obteve-se um desvio total do orçamento estimado com o real de 9,76%, valor que está dentro da faixa de precisão para orçamentos preliminares apontada por Baeta (2012).

No entanto, o processo de verificação da aplicabilidade do método proposto não se exaure com apenas uma simulação, que apresenta limitações, conforme mencionado. Sugere-se que o método apresentado neste trabalho de montagem de um banco de dados comparativos de orçamentos reais, cálculo das equações paramétricas e determinação das estimativas de custos, possa ser repetido e continuado por outros pesquisadores e profissionais. Recomenda-se que sejam buscadas maiores quantidades de obras para comparação, para aumentar a precisão dos resultados.

Considera-se também que a apresentação deste artigo sirva como uma contribuição da academia para a disseminação do método expedito de estimativa de custos por equações paramétricas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- ALTOUNIAN, C.S. **Obras públicas**: licitação, contratação, fiscalização e utilização. 5. ed., Belo Horizonte: Fórum, 2016.
- ALTOUNIAN, C.S.; CAVALCANTE, R.J. **RDC e contratação integrada na prática**: 250 questões fundamentais. 2. ed., Belo Horizonte: Fórum, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios de edifícios**. Rio de Janeiro, 2006. 94p.
- _____. **NBR 12722: Discriminação de serviços para construção de edifícios**. Rio de Janeiro, 1992. 14p.
- AZEVEDO, R.C.; ENSSLIN, L.; LACERDA, R.T. de O.; FRANÇA, L.A.; GONZÁLEZ, C.J.I.; JUNGLES, A.E.; ENSSLIN, S.R. Avaliação de desempenho do processo de orçamento: estudo de caso em uma obra de construção civil. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 1, p. 84-104, jan./mar. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000100007>
- BAETA, A.P. **Orçamento e controle de preços de obras públicas**. São Paulo: Pini, 2012.
- BADAWY, M. A hybrid approach for a cost estimate of residential buildings in Egypt at the early stage. **Asian Journal Civil Engineering**, v. 21, p. 763–774, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00237-z>
- BAJAJ, A.; GRANSBERG, D.D.; GRENZ, M.D. Parametric estimating for design costs. In: Annual Meeting AACE International. **Proceedings...** Association for the Advancement of Cost Engineering, Portland, Oregon: 2002. Available in: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/7197142/parametric-estimating-design-costs>
- BARROS, A.C.S.; FALCÃO, D.F. Orçamento paramétrico como ferramenta de controle de custos na construção civil. In: Conferência Internacional da Latin American Real State (LARES), 16., 2016. **Anais...** São Paulo, Brasil: 2016. Disponível em: https://lares.architexturez.net/system/files/BARROS_ORCAMENTO_ARTIGO.pdf
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003.
- CARR, R.I. Cost-estimating principles. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 115, n. 4, p. 545-551. December 1989. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1989\)115:4\(545\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1989)115:4(545))
- CORDEIRO, G.M.; LIMA NETO, E.A. **Modelos paramétricos**. Apostila. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 256p.
- DANG, C.N.; LE-HOAI, L. Revisiting storey enclosure method for early estimation of structural building construction cost. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 7, p. 877-895, 2018. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2015-0111>
- DIAS, P.V.R. **Engenharia de custos**: uma metodologia de orçamento para obras civis. 8. ed., Rio de Janeiro: Sindicatos dos Editores de Livros, 2011.
- DYSERT, L.R. Developing a parametric model for estimating process control costs. **Cost Engineering**, v. 43, n. 2, p. 31–34, February 2001. Available in: https://www.costengineering.eu/images/papers/Developing_a_Parametric_Model_for_Estimating_Process_Control_Costs.pdf

FAVERO, L.P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2017.

GUNAYDIN, H.M.; DOGAN, S.Z. A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. **International Journal of Project Management**, v. 22, p. 595–602, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.002>

HEGAZY, T.; AYED, A. Neural network model for parametric cost estimating of highway projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 3, p. 210–218, May 1998. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:3\(210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:3(210))

HENDRICKSON, C. **Project management for construction**. 2nd ed., Carnegie Mellon University, Pittsburgh: Prentice Hall, 2000.

HILL, R.C.; JUDGE, G.G.; GRIFFITHS, W. **Econometria**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. (IBRAOP). **Precisão do orçamento de obras públicas**. Orientação Técnica (OT) n.4. 2012. 4p. Disponível em: https://www.ibraop.org.br/wp-content/uploads/2013/04/OT_IBR0042012.pdf

ISATON, C. **Análise de custos paramétricos para dados orçamentários de unidades de internação socioeducativas**. 2016. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/175086>

JARDE, A.; ALKASS, S. Computer-integrated system for estimating the costs of building project. **Journal of Architectural Engineering**, v. 13, n. 4, p. 205–223, December 2007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2007\)13:4\(205\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2007)13:4(205))

KARSHENAS, S. Cost estimating in the age of 3D CAD software and object database. In: Construction Research Congress 2005. **Proceedings...** San Diego, California, United States: 2005. 8p. [https://doi.org/10.1061/40754\(183\)120](https://doi.org/10.1061/40754(183)120)

KERMANSHACHI, S.; ZHENG, Y.L.; ANDERSON, S.D.; SCHEXNAYDER, C.; MOLENAAR, K. Cost Estimating tool for early estimates for rural and small urban transit facilities. In: Transportation Research Board, 95., 2016. **Proceedings...** Washington: 2016 (No. 16-1657). Available in: <https://trid.trb.org/view/1392593>

KIRKHAM, R.J. **Ferry & Brandon's cost planning of buildings**. 8th ed., Oxford, UK: Blackwell Science, 2007.

LEVIN, J.; FOX, J.A.; FORDE, D.R. **Estatística para ciências humanas**. 11 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LIMA, F.S.A. **Custo Unitário Geométrico: uma proposta de método de estimativa de custos na fase preliminar do projeto de edificações**. 2013. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.producao.ufrj.br/index.php/en/theses-and-dissertations/dissertation/2013/278-flaviaschmidtdeandradelima/file>

LIMA, F.; KOS, J.; MONTENEGRO, N. Otimização multiobjetivo e desenvolvimento orientado pelo transporte: algoritmos evolutivos em estratégias de planejamento urbano. In: Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 20., 2016, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Sigradi, 2016. p.601-608. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/otimizao-multi-objetivo-e-desenvolvimento-orientado-pelo-transporte-algoritmos-evolutivos-em-estrategias-de-planejamento-urbano-24857>

MATTANA, L.; LIBRELOTTO, L.I. Estratégias para ensino de orçamentação com adoção de BIM em ambiente acadêmico. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v.13, n.3, p.97-118, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i3.139505>

MATTOS, A.D. **Como preparar orçamento de obras**. São Paulo: Pini, 2006.

MENDES, S.; RAMOS, L.; LOURENÇO, J.; BENTES, I. Relações paramétricas de custos de infra-estruturas de saneamento básico. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 9.,

2009. **Anais...** Universidade de Benguela, Angola: 2009. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18203/1/jloure09-11.pdf>

MEYER, E.R; BURNS, T.J. Facility parametric cost estimating. In: American Association of Cost Engineers (AACE) Transaction. 43rd Annual Meeting. **Proceedings...** Denver, USA. 1999.

OBERLENDER, G.D.; TROST, S.M. Predicting accuracy of early cost estimates based on estimate quality. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 127, n. 3, p. 173–182, 2001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:3\(173\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:3(173))

OTERO, J.A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativas de custo na construção de edifícios**: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade. 214f. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/123456789/78481/1/170830.pdf>

OTERO, J. A. Uso de modelos paramétricos em estimativas de custo para construção de edifícios. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, (ENEGEP 18). Niterói, RJ, 1998. **Anais...** Niterói, RJ, 1998. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART309.pdf

SONMEZ, R. Parametric range estimating of building costs using regression models and bootstrap. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 12, Dec. 2008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:12\(1011\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:12(1011))

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil**: consultoria, projeto e execução. São Paulo: Pini, 2006.

YIN, R.K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

Felipe Maués

felipemaues99@hotmail.com

Kederson Melo

kederson@yahoo.com.br

Carla Leão

carlabarroso@ufscar.br

Sheyla Serra

sheylabs@ufscar.br